

ROBOTS MÓVILES AUTÓNOMOS Y PLATAFORMAS DE NAVEGACIÓN



SENNOVA
Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación

ISBN
978-958-15-0581-4

VIGILANCIA



TECNOLOGICA

Catalogación en la publicación. SENA Sistema de Bibliotecas

Informe de vigilancia tecnológica sobre robots móviles y plataformas de navegación / Karol Johana Zambrano Cruz, Diego Camilo Celada Lozada, Julián René Chaux, Gustavo Humberto Polanía -- Neiva : Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). Centro de la Industria, la Empresa y los Servicios, 2020.

1 recurso en línea (41 páginas : PDF)

Bibliografía: página 40.

Contenido: Modelo cinemático -- Odometría en la robótica -- Localización y mapeo -- Sistema operativo de robot (ROS) -- Estructuras.

ISBN: 978-958-15-0581-4

1. Robots--Investigaciones 2. Sistemas de control de autómatas--Investigaciones 3. Robótica--Investigaciones I. Zambrano Cruz, Karol Johana II. Celada Lozada, Diego Camilo III. Chaux Cedeño, Julián René IV. Polanía M., Gustavo Humberto V. Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA).

CDD: 629.8932

Servicio Nacional de Aprendizaje Regional Huila Centro de la Industria, la Empresa y los Servicios

Directivos SENA

Carlos Mario Estrada
Dirección General

Leidy Johana Sierra
Coordinador Nacional Sistema de Investigación
Desarrollo Tecnológico e Innovación SENNOVA

Fermín Beltrán Barragán
Director Regional Huila (E)

Martha Liliana Muñoz Piamba
Subdirectora (E) Centro de la Industria, la
Empresa y los Servicios

Juan Pablo Villamil Poveda
Lider SENNOVA

Autor

Karol Johana Zambrano Cruz
Matemático - Magister en Educación

Diego Camilo Celada Lozada
Ingeniero electrónico, Magister en Ingeniería de
Control Industrial

Julián René Chaux
Ingeniero electrónico, Magister en Ingeniería de
Control Industrial

Gustavo Humberto Polanía
Ingeniero electrónico, Magister en Ingeniería de
Control Industrial

Par evaluador

Juan David Cerquera Paloma
Ingeniero electrónico, Magister en Ingeniería de
Control Industrial

Jonathan Legro Pastrana
Ingeniero electrónico, Magister en Ingeniería de
Control Industrial

Santiago Ochoa
Ingeniero electrónico

Diagramador

Yerzin Janey Perez Bernal
Aprendiz Tecnólogo Análisis y Desarrollo de
Sistemas de Información - Técnico en Diseño e
integración de Multimedia



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

© Servicio Nacional De Aprendizaje-SENA

Este libro es un producto de distribución gratuita, por lo tanto, está prohibida su venta y comercialización. No se permite la reproducción total o parcial de esta obra, ni su incorporación a un sistema electrónico, mecánico, fotocopia, grabación u otros, sin citar la fuente; la infracción de dichos derechos puede constituir un delito contra la propiedad intelectual. Las opiniones aquí contenidas son responsabilidad exclusiva del autor y no reflejan necesariamente el pensamiento del SENA. Neiva Huila, Colombia, 2020.

Neiva, Colombia, 2020
Primera edición

ISBN: 978-958-15-0581-4



Vigilancia Tecnológica Sobre Robots Móviles Autónomos y Plataformas de Navegación

Centro de la Industria, la Empresa y los Servicios
Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA
SENNOVA - Neiva
Regional Huila
2020



Centro de la Industria, la Empresa
y los Servicios, Regional Huila



Vigilancia Tecnológica Sobre Robots Móviles Autónomos, Plataformas de Navegación

Investigadores:

Karol Johana Zambrano Cruz,
Diego Camilo Celada Lozada,
Julián René Chaux Cedeño,
Gustavo Humberto Polanía M.

Centro de la Industria, la Empresa y los Servicios
Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA
SENNOVA - Neiva
Regional Huila
2020

Vigilancia Tecnológica Sobre Robots Móviles Autónomos, Plataformas de Navegación

Tabla de Contenidos

Introducción.....	11
Objetivo.....	13
Metodología.....	13
1. Planeación.....	13
2. Búsqueda.....	13
3. Tratamiento.....	14
4. Clasificación bibliográfica.....	14
4.1 Artículos en revistas especializadas.....	14
4.2 Tesis.....	16
4.3 Libros.....	16
4.4 Patentes.....	17
Descripción de la temática.....	18
1. Modelo cinemático.....	18
1.1 Ejemplos de implementación.....	19
2. Odometría en la robótica.....	21
3. Localización y mapeo.....	22
3.1 Clasificación de mapas.....	23
3.2 Algoritmo topológico.....	24
3.3 Sistema de navegación basado en SLAM.....	24
4. Sistema Operativo de Robot (ROS).....	26
5. Estructuras.....	26
a. Turtlebot.....	26
b. The Nubot.....	28
c. Carretilla industrial.....	28
d. Lego NXT.....	29

e. Fitorobot.....	31
Resultados y Análisis.....	32
1. Artículos de revistas	32
2. Tesis	34
3. Libro.....	34
Conclusiones.....	38
Recomendaciones	39
Bibliografía	40

Lista de Figuras

Figura 1. Diagrama cinemático Lego NXT.....	20
Figura 2. Diagrama cinemático robot Ricimaf.....	20
Figura 3. Robot Melfa RV-2AJ.....	21
Figura 4. Robot Turtlebot.....	27
Figura 5. Robot Turtlebot 2.....	27
Figura 6. Robot Nubot.....	28
Figura 7. Robot carretilla.....	29
Figura 8. Robot diferencial Lego NXT.....	30
Figura 9. Robot Lego 3 ruedas.....	30
Figura 10. Fitorobot.....	31

Lista de Tablas

Tabla 1. Artículos de revistas especializadas.....	13
Tabla 2. Tesis.....	15
Tabla 3. Libros.....	15
Tabla 4. Patentes.....	16

Lista de Gráficos

Gráfico 1. Publicaciones consultadas.....	32
Gráfico 2. Temáticas.....	32
Gráfico 3. Publicaciones por año.....	33
Gráfico 4. Cantidad de documentos publicados por año.	35
Gráfico 5. Tipos de documentos publicados.....	35
Gráfico 6. Países de las publicaciones.....	36
Gráfico 7. Cantidad de patentes por año.....	37
Gráfico 8. Países con mayor números de patentes.....	37

Prólogo

La vigilancia tecnológica “**Robots móviles autónomos, plataformas de navegación**” fue realizada por instructores del **Centro de la Industria, la Empresa y los Servicios del .SENA Regional Huila**, quienes, desde diferentes disciplinas del conocimiento, orientan iniciativas para contribuir al desarrollo y fortalecimiento del talento humano del departamento del Huila.

Este documento permite tener una percepción clara, coherente y actualizada del siglo XXI, como una herramienta fundamental para estudiantes y aprendices del área de electrónica, automatización y control de procesos e incluso para aquellas personas que deseen iniciarse en estas disciplinas del conocimiento, brindando al lector pautas para la toma de decisiones siendo un referente en el mundo académico nacional.

Hoy, la robótica es una tecnología fundamental para los avances de la industria, vivimos en una sociedad donde operaciones simples y complejas son manejadas por sistemas robóticos lo que requiere de personal con conocimientos suficientes para manipularlos. En consecuencia, los aportes de esta vigilancia son muy importantes toda vez que brindan recomendaciones y ejemplos de referentes que permitirán diseñar e implementar un robot móvil autónomo para la logística.

El lector conocerá a profundidad sobre estrategias del control, el estudio cinemático, la odometría, la navegación y el desplazamiento por método SLAM, además, de evaluar estructuras para la construcción del robot, idóneas entre Turteblot, Lego y Nubot, estos y otros temas son abordados y estarán disponibles para los fanáticos de la robótica.

Finalmente, la gestión del conocimiento en una región es vital para el incremento de su competitividad, puesto que las decisiones tomadas con base en documentos rigurosos y en vigilancias tecnológicas de calidad, como la realizada, tienen mayor consistencia, minimizan los errores y, seguramente, permiten construir a partir de la acción, eso escenarios que resultan de los profundos trabajos de la prospectiva.

Fermín Beltrán Barragán
Director Regional Huila

Introducción

La robótica ha sido una ciencia fundamental para la evolución del ser humano. Integra áreas como mecánica, control, electricidad, electrónica e informática. No sólo ha tecnificado las labores convirtiéndolas en tareas manipulables y rentables; sino que ha contribuido en los procesos de aprendizaje de las personas en el mundo, además, en la industria y en la seguridad para proteger a hombres y mujeres de sustancias tóxicas y/o situaciones arriesgadas.

Los usos de la robótica estaban enfocados inicialmente en el sector industrial, donde el principal objetivo era la automatización masiva en los servicios para aumentar la productividad, la flexibilidad, la calidad, pero, sobre todo, la mejora de la seguridad para disminuir el riesgo de las personas en la realización de tareas peligrosas. (Quiñonez, Tostado, & Burgueño, 2015)

Sectores en áreas como: salud, educación, movilidad, electrónica, mecanizado, plásticos, mobiliario y equipamiento, hacen parte de los más beneficiados con la aplicación de la robótica en los diferentes procesos y tareas que desarrollan. Sin embargo, con el paso de los años se ha fortalecido también a la industria agrícola.

A finales del siglo XX se implementa la robótica y la automatización, permitiendo la operación de máquinas de gran volumen por ciclos en labores como siembra y cosecha. Desde la creación de Shakey, en 1966, nombrado por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) como el primer robot inteligente móvil del mundo, por su autonomía para planificar una ruta y desplazarse por sí mismo; se incrementó de manera exponencial el diseño de robots usados en distintos campos que pueden ir desde el hogar pasando por la construcción, medicina y el sector defensa.

Es así como la robótica en el último siglo ha logrado un rápido desarrollo en el diseño e implementación de robots móviles autónomos, a tal punto de ser clave en la revolución industrial denominada Industria 4.0.

Aunque esta industria ha centrado sus esfuerzos en la agricultura de precisión

a través de robots y sistemas que permiten procesos eficaces en la selección y recolección de granos, o recolección de semillas; el presente informe busca brindar información para la toma de decisiones para el diseño e implementación de un robot autónomo y sobre plataformas de navegación en ambientes.

La implementación de un robot móvil autónomo para distribuir y clasificar los productos al interior de una bodega se suma a los robots de procesos de logística que se aplican en empresas como Amazon, entre otros escenarios comerciales. Estos robots son conocidos en el mundo como 'ejemplares de logística' por su capacidad de detectar obstáculos y módulos que le permiten seleccionar artículos que se le solicitan a través de inteligencia artificial.

Resultados de la experiencia, el bagaje académico de los autores y la compilación bibliográfica realizada, este documento se convertirá en una herramienta de enseñanza para los aprendices del SENA, específicamente, aquellos de las áreas de electrónica, automatización y control. Será un libro guía para instructores en lo relacionado con sistemas de navegación, plataformas robóticas y robots móviles autónomos. Además, con él se desea promover y fortalecer el desarrollo de la investigación aplicada en los aprendices del centro de formación, sugerir y recomendar alternativas de diseño e implementación de robots autónomos en tareas propias al interior de ambientes cerrados.

Objetivo

Desarrollar una vigilancia tecnológica sobre literatura existente de robots móviles autónomos, plataformas de navegación utilizados en procesos logísticos.

Metodología

Este informe se desarrolló teniendo en cuenta las siguientes etapas de búsqueda que permitieron reunir el contenido académico sobre robots móviles autónomos y plataformas de navegación:

1. Planeación

El equipo delimitó la información necesaria de acuerdo con el desarrollo del proyecto. Para ello, se identificaron las palabras claves principales para iniciar el proceso de búsqueda.

Determinando las siguientes:

- Robots
- Plataformas robóticas
- Robots autónomos
- ROS
- SLAM
- Odometría

2. Búsqueda

Posteriormente se identificaron las palabras claves asociadas, a partir de ello se construyen ecuaciones de búsqueda, formando con las palabras claves mencionadas anteriormente.

Selección de fuentes

Se da inicio el proceso de indagación en las distintas fuentes de información especializada y estructurada, es decir, bases de datos de revistas y artículos científicos, entre otros, como: SCOPUS, Proquest, Redalyc, Scielo, y Science Direct.

Así mismo, se investigó en bases de datos de tesis como Teseo, Portal de Tesis Latinoamericanas, Tesis en red y Openthesis, entre otras; de esta manera se

establecieron los documentos pertinentes para el desarrollo de la investigación en curso.

Luego, se validó la calidad de la información encontrada, se filtró y se seleccionó la más idónea para el progreso de la temática determinada.

3. Tratamiento

En esta etapa, se tiene en cuenta la estructura de la base de datos, se establece los condicionantes y el alcance de la búsqueda para analizar la información encontrada. Se organiza de acuerdo con las siguientes variables: Robots móviles, Plataformas de navegación.

4. Clasificación bibliográfica

A continuación, se muestran algunos de los resultados más relevantes y pertinentes en el tema seleccionado, obtenidos a partir de búsqueda de información realizada en revistas especializadas, libros, tesis y patentes:

4.1 Artículos en revistas especializadas

Tabla 1.

Artículos de revistas especializadas

Nombre Artículo	País	Año
Topological simultaneous localization and mapping: assurvey	Madrid, España	2013
The design of an intelligent soccer-playing robot	Changsha, China	2016
Study on Method of Autonomous Mobile Robot Integrated Navigation Based on SLAM	Switzerland	2012
An Improved FastSLAM System Based on Distributed Structure for Autonomous Robot Navigation	Beijing, China	2014
Aplicación de técnicas evolutivas y visión por computadora para navegación autónoma de robots utilizando un TurtleBot 2	Mazatlán, Sinaloa, México	1905
Modelo Cinemático Dinámico Del Mini Robot Móvil RICIMAF	Cuba	2012
Robots Móviles con Orugas Historia, Modelado, Localización y Control	Almería España	2015
Modelado Matemático de la Posición del Centro de Masa de un Robot de Tracción Diferencial. Un Enfoque desde la Mecánica Lagrangiana	Bogotá DC	2018

Modelamiento, simulación y control de posicionamiento automático de un robot móvil con tracción diferencial como herramienta para apoyar la formación en robótica en ambientes de aprendizaje SENA	Bogotá DC	2016
Implementación de un controlador de posición y movimiento de un robot móvil diferencial	Bogotá DC	2016
Kinematic Modeling of Wheeled Mobile Robots	Pittsburgh, Pennsylvania	1986
Aplicaciones De La Reconstrucción 3d: Odometría Visual E Integración Con La Realidad Virtual	Madrid, España	2017
Robot Obstacle Avoidance Learning Based on Mixture Models	Shenyang, China	2016
Plant detection and mapping for agricultural robots using a 3D LIDAR sensor	Schwieberdingen, Germany	2012
Modelo matemático de un robot móvil	Madrid España	2009
Autonomous Simultaneous Localization and Mapping driven by Monte Carlo uncertainty maps-based navigation	Cambridge, Inglaterra	2012
Analytical Models for Collaborative Autonomous Mobile Robot Solutions in Fulfillment Centers	USA	2020
UAV-assisted autonomous mobile robot navigation for as-is 3D data collection and registration in cluttered environments	USA -Korea	2009
Scene perception based visual navigation of mobile robot in indoor environment	China	2020
The Mobile Robot Anti-disturbance vSLAM Navigation Algorithm based on RBF Neural Network	Limerick, Ireland	2019
A hybrid approach for autonomous navigation of mobile robots in partially-known environments	Algeria	2016
Reinforcement Learning Approach for Navigation of Ground Robotic Platform in Statically and Dynamically Generated Environments	Petersburg, Russia	2019
Implementación de un robot móvil para optimizar el flujo documentario en el área de logística usando tecnologías de robótica autónoma basada en la plataforma de software libre ROS	Lima Perú	2017
Mobile Robot Localisation and Navigation Using LEGO NXT and Ultrasonic Sensor	China	2018
VDO-SLAM: A Visual Dynamic Object-aware SLAM System	Australia	2020

4.2 Tesis

Tabla 2.

Tesis.

Nombre	País	Año
"Control De Trayectoria De La Simulación De Un Brazo Robot De 5 Grados De Libertad, Controlado Mediante La Plataforma C2000 Piccolo Launchxl-F28027f"	España	2017
Diseño E Implementación De Una Plataforma Robótica Móvil Inalámbrico Con Tracción Intercambiable Para El Laboratorio De Mecatrónica De La Espe-L	Ecuador	2016
"Modelado Cinemático y Control De Robots Móviles Con Ruedas"	España	2006
Implementación De Un Control Visual Para Robots Móviles Con Ruedas	México	2014
Navegación autónoma de un robot con técnicas de localización y ruteo	Puebla México	2009
Firmware basado en ROS para la navegación autónoma de un robot diferencial utilizando fusión de sensores	Argentina	2020
Diseño de un sistema de navegación autónomo para robots móviles usando fusión de sensores y controladores neuro difusos	Lima	2015
Desarrollo De Un Robot Móvil Terrestre Semiautónomo Con Acceso Remoto	Colombia	2019
Navegación Autónoma De Robots En Agricultura: Un Modelo De Agentes	Madrid	2005
Trayectorias para robot móviles de navegación autónoma	México	2019

4.3 Libros

Tabla 3.

Libros.

Nombre	País	Año
Introduction To Autonomous Mobile Robots	Inglaterra	2004
Applied Mathematical Modelling	United Kingdom	2020

4.4 Patentes

Tabla 4.

Patentes.

Nombre de la patente	Año	País	Patent Number
Documentautonomous Mobile Robotic Systems And Methods For Picking And Put-Away	Published 2020	United States	20200316786
Documentsystem, Device, And Method Of Augmented Reality Based Mapping Of A Venue And Navigation Within A Venue	Published 2020	United States	20200302510
Mapping An Environment Using A State Of A Robotic Device	Published 2020	United Kingdom	2580690
Obstacle Recognition Method For Autonomous Robots	Published 2020	United States	20200225673
Moving Object, Control Method For Moving Object, And Program [移動体、移動体の制御方法及びプログラム]	Published 2020	Japan	2020095339
Documentautonomous Platform Guidance Systems With Task Planning And Obstacle Avoidance	Published 2020	United States	20200192388
Adaptive Virtual Camera For Indirect-Sparse Simultaneous Localization And Mapping Systems	Published 2020	United States	20200111233
System And Method For Autonomous Navigation Using Visual Sparse Map	Published 2020	United States	20200047340
Remote Planning And Locally Adaptive Service Mapping	Published 2020	United States	20200047343
Autonomous All Terrain Robotics Vehicle [Autonomes Geländeroboterfahrzeug]	Published 2020	Europa	2874037
Vehicle Controllers For Agricultural And Industrial Applications	Published 2020	United States	20200029490
Documentself-Reliant Autonomous Mobile Platform	Published 2020	United States	20200034620
Stereo Visual Odometry Method Based On Image Gradient Joint Optimization	Published 2019	United States	20190333231
Visual-Inertial Sensor Fusion For Navigation, Localization, Mapping, And 3d Reconstruction	Published 2019	United States	20190236399
Simultaneous Localization And Mapping Methods And Apparatus	Published 2019	United States	20190226852
Square Root Inverse Schmidt-Kalman Filters For Vision-Aided Inertial Navigation And Mapping	Published 2019	United States	20190178646

Descripción de la temática

1. Modelo cinemático

Un robot móvil tiene capacidad para desplazarse de forma autónoma de un lugar a otro según se requiera en el proceso o tarea a desarrollar.

Sin embargo, para que el dispositivo móvil siga una trayectoria específica se necesitan estrategias de control, algunas, se caracterizan por que no requieren de un modelo matemático sino un modelo cinemático y dinámico. (Hernandez Millan, Rios Gonzalez, & Bueno Lopez, 2016)

Para la aplicación del modelo, es necesario determinar que, la cinemática hace referencia al estudio de la matemática del movimiento, sin tener en cuenta los efectos de la fuerza sobre el dispositivo; entre tanto, la dinámica es el estudio del movimiento a partir del modelamiento de las fuerzas aplicadas, teniendo en cuenta la energía y velocidad. (Bermudez, 2003)

La cinemática del robot estudia el movimiento de sí mismo con respecto a un sistema de referencias. Se interesa por la descripción analítica del movimiento espacial del robot como una función del tiempo, y en particular por las relaciones entre la posición y la orientación final del robot con los valores que toman sus coordenadas. (Hernandez Millan, Rios Gonzalez, & Bueno Lopez, 2016)

Para determinar el modelo cinemático deben establecerse las relaciones entre las variables que intervienen en este proceso, se trata de la postura del vehículo y la velocidad, que está determinada por la dirección y rotación de la rueda. (Gracia Caladin, 2006)

Pero son las tensiones aplicadas al robot móvil las que determinan su tipo de desplazamiento.

Es decir, que, cuando las tensiones son aplicadas se inducen velocidades angulares sobre las ruedas, lo que produce cambios en la dirección del robot; de tal forma, que si las tensiones son iguales el robot, se desplazará en línea recta.

Cuando una de las tensiones sea mayor que la otra, el robot refiere una trayectoria curva. (Cardona, Leal, & Ramirez, 2018)

La estructura cinemática de un robot móvil se puede considerar como un conjunto de cadenas cinemáticas cerradas, cuyo número está dado por la cantidad de ruedas que estén en contacto con el suelo. (Quintero, 2012)

No obstante, se presentan problemas para solucionar la cinemática del robot. Así lo presentan (Cardona, Leal, & Ramirez, 2018) Uno de ellos se conoce como cinemática directa, en éste se debe determinar la posición y orientación final del robot de acuerdo con un sistema de coordenadas de referencia; en este proceso se conocen los valores de las velocidades angulares de las ruedas del robot.

El segundo problema está relacionado con la cinemática inversa, que soluciona la determinación de los parámetros de control para llevar al robot a un lugar deseado, proporcionando las velocidades angulares que deben tomar las ruedas del robot para una posición y orientación conocidas. La cinemática inversa del sistema implica la inversa del jacobiano.

Es de resaltar, que la matriz jacobiana está conformada por derivadas parciales de primer orden de una función; una de sus aplicaciones más comunes está relacionada con la posibilidad de aproximar linealmente a la función en un punto. Se presentan el método del Jacobiano directo que dependerá de los ángulos de las articulaciones, velocidades angulares, para poder determinar la velocidad del efector final, teniendo en cuenta que será de valor diferente en cada instante en el espacio de la trayectoria y el método del Jacobiano inverso en el que se calcula las velocidades angulares a partir de las velocidades del efector final. (Vera Luzuriaga, 2017)

1.1 Ejemplos de implementación

Para determinar el modelo cinemático de un robot móvil tipo Lego NXT 2.0, se revisa su geometría representada en un marco inercial (X, Y); la velocidad del centro de masa del robot (\dot{t}), se escribe en función de tres aspectos; las velocidades tangenciales de las ruedas derecha e izquierda ($V1$ y $V2$); la velocidad angular de

las ruedas θ desde el punto $P_0=(x,y)$ y el ángulo de avance ψ (curso del robot o guiñada) en el marco de referencia global como se observa en la figura 1. (Cardona, Leal y Ramírez, 2018).

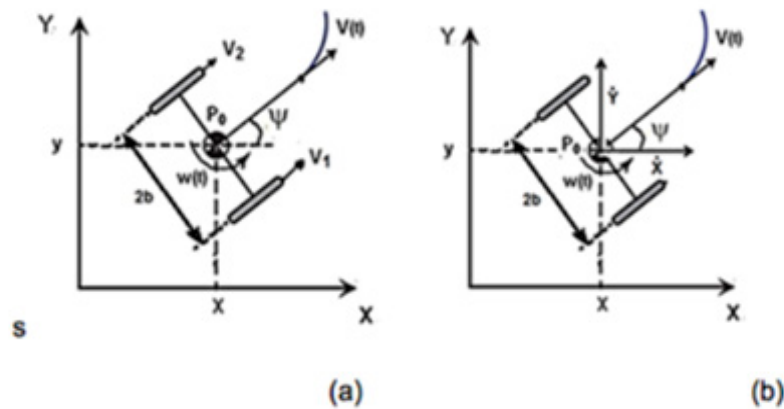


Figura 1. Diagrama cinemático Lego NXT.

Nota: Fuente de la imagen Cardona, Leal y Ramírez, 2018.

Entre tanto, un mini robot móvil Ricimaf (Figura 2.) requiere de cambios diferenciales en la localización (posición y orientación), coordenadas que se logran a través del cálculo de la matriz jacobiana y su inversa.

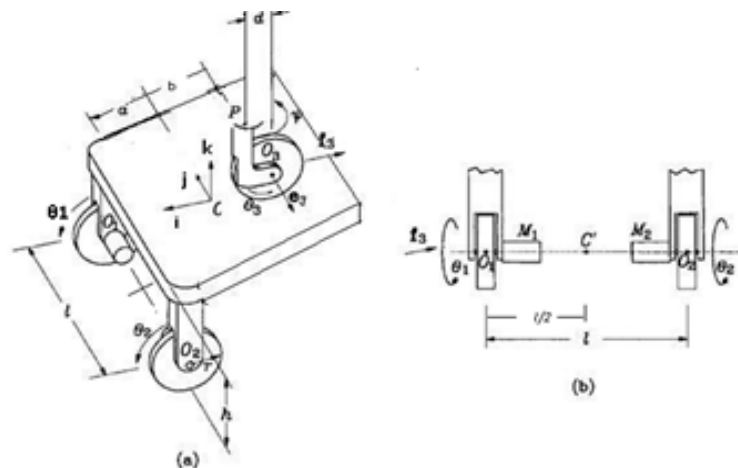


Figura 2. Diagrama cinemático robot Ricimaf.

Nota: Fuente de la imagen del Pozo Quintero, A. 2012.

Pero si se requiere el análisis para un brazo robot Melfa RV-2AJ de 5 grados de libertad (Figura 3.) se puede determinar a través de la cinemática directa e inversa, cada una de ellas presenta algunas inquietudes a resolver. (Vera Luzuriaga, 2017)

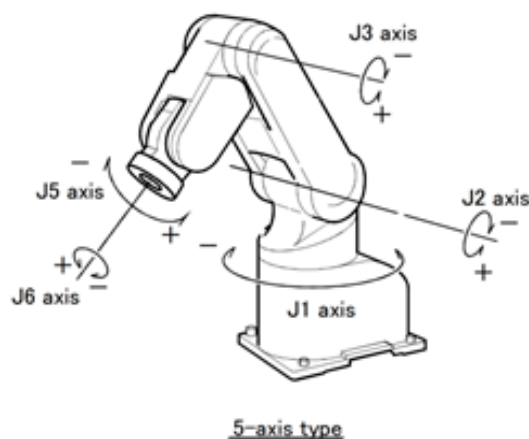


Figura 3. Robot Melfa RV-2AJ.

Nota: Fuente de la imagen Vera Luzuriaga, 2017.

Los brazos robóticos tienen una configuración de cadena cinemática abierta, es decir, tienen libertad para moverse en el espacio. Existen otras configuraciones de cadena cinemática cerrada como son los robots paralelo delta, cartesiano, cilíndrico, entre otros, en el cual su movimiento está en función a sus eslabones.

Los brazos robóticos o conocidos como manipuladores se recomiendan que tengan un solo grado de libertad por cada articulación para aplicar la convención de Denavit-Hartenberg que tiene en cuenta que, las articulaciones conectan a los eslabones para que la articulación mueva al eslabón.

Se recomienda definir con claridad los parámetros de Denavit-Hartenberg porque es la configuración de la cadena cinemática entre eslabones del brazo robot para que esta pueda ser tratada para el movimiento cinemático.

Los parámetros de Denavit-Hartenberg se pueden determinar de dos maneras, con el método estándar o modificado. (presentado por John Craig en 1986).

2. Odometría en la robótica

La odometría es utilizada en los robots móviles para tener un estimativo en la posición del dispositivo a su localización inicial. Para ello, se utilizan ecuaciones que se simplifican en datos de encoders ubicados en las ruedas del robot.

La Odometría visual conocido como un sistema de navegación, permite incrementar la autonomía de un robot. Esta técnica consiste en estimar la posición y orientación del robot, obteniendo una trayectoria de su recorrido, analizando diferentes imágenes capturadas con una cámara incorporada al robot. De estos fotogramas, se extraen características como pueden ser bordes, esquinas o manchas, y se observa como varían en imágenes siguientes, estimando cuánto se ha desplazado el robot. (Navarro Merino, 2017)

Entre tanto, para (Gonzalez, Rodriguez , & Guzman, 2015), la Odometría visual es una solución exitosa y económica en la localización en entornos exteriores. Consiste en comparar los elementos de una secuencia de imágenes tomadas por una cámara o un conjunto de sensores como codificadores, IMU, GPS, entre otros. Esta información minimiza el problema del deslizamiento y hace posible estimar la velocidad real de avance del robot.

Existen dos formas de implementar la Odometría visual; la primera y más conocida, se denomina Flujo óptico, en el que se distinguen características distintivas entre las imágenes adquiridas y se determinan vectores velocidad entre la imagen actual y la anterior. La segunda, es la técnica de Plantilla, que consiste en realizar un proceso de correlación de una región definida en la imagen actual con una imagen previa (Gonzalez, Rodriguez , & Guzman, 2015)

3. Localización y mapeo

Lograr que un robot se desplace en una ruta de manera autónoma es posible si se tienen en cuenta aspectos como la localización y el mapeo simultáneo (SLAM).

Un robot móvil debe navegar por el entorno para lograr sus objetivos. (Leonard y Durrant-Whyte). La localización está definida como la ubicación y orientación del robot, para ello se validan los datos obtenidos a través de sensores y el conocimiento de ubicaciones anteriores. Es importante tener en cuenta el ambiente, y las distracciones que se puedan presentar en el mismo.

Sin embargo, durante ese proceso de localización, el robot necesita un sistema de referencia, es decir: un mapa.

Uno de los problemas que se pueden registrar en la localización y mapeo simultaneo, está relacionada con el desconocimiento de la ubicación y el entorno en el que se moverá el robot. Inicialmente se utiliza información local mientras se determina la ubicación en el mapa.

3.1 Clasificación de mapas

Durante la revisión de literatura, se establece una clasificación de los tipos de mapas que se pueden presentar. (Boal, Sanchez - Miralles, & Arranz, 2014)

- **Mapas métricos**

Representan el entorno como un conjunto de coordenadas de objetos, utilizando datos sin procesar y características geométricas. La localización y el mapeo pueden ser muy precisos. Sin embargo, el volumen de datos es mayor e implica cálculos complicados.

- **Mapas topológicos**

Este tipo de mapas modelan el entorno como un gráfico, proporcionan una representación compacta al codificar lugares distintivos dentro del entorno, no requieren de una localización precisa. No obstante, existe el riesgo de que dos ubicaciones parezcan idénticas a los sensores del robot.

- **Mapas híbridos**

Estos mapas híbridos también conocidos como Jerárquico, son una combinación de los dos anteriores, se caracterizan porque se reduce la carga computacional de los mapas métricos y se aumenta la distinción topológica; para ello, se utiliza un mapa topológico global para moverse entre lugares y se basan en una representación métrica en espacios locales delimitados por una navegación precisa.

- **Mapas semánticos**

Estos últimos, se caracterizan por tener información espacial sobre el entorno y asignaciones de las características mapeadas a entidades de clases conocidas.

Es decir, que incluye datos sobre objetos, funciones, eventos o relaciones en el entorno del robot que permite resolver las ambigüedades de la ubicación.

Finalmente, se recomienda el uso del mapa topológico, que se iguala al sistema de navegación intuitivo del ser humano.

3.2 Algoritmo topológico

Para implementar un algoritmo topológico SLAM se deben seguir estos pasos. Primero, elegir los sensores que permitan percibir el medio ambiente. El segundo; determinar los algoritmos de extracción de características que se aplicarán. Tercero, comparar los datos recopilados con los nodos almacenados; puede presentarse que el robot no esté seguro de su posición después de realizar la comparación. El robot reconoce las posiciones y puede registrar un nuevo nodo.

3.3 Sistema de navegación basado en SLAM

La navegación es una estimación continua del estado de la velocidad, la aceleración, la posición y la postura del transportista en movimiento. (Zeng , Guo, & Zhang, 2013)

El SLAM contribuye en la solución del problema de navegación. En un robot móvil se encuentran integrados varios sensores con los cuales se pueden construir varios sistemas de navegación locales, integrarlos y formar un todo.

Sin embargo, para otros expertos, la posición del robot no se puede obtener directamente, sino que se requiere utilizar la observación indirecta del sensor para estimar la posición del robot mientras se encuentra estable.

El algoritmo SLAM utiliza cálculos muertos y observación relativa para estimar la posición del robot y construir un mapa de navegación. En general, el modelo de

SLAM se compone del modelo de movimiento y el modelo de observación. (Fu-jun , Hao-yang , & Yu-hang , 2014)

Para (Zeng , Guo, & Zhang, 2013) los sensores de la plataforma del robot móvil SaecROB-H se incluyen un sistema micro inercial MEMS que puede generar información de posición, velocidad y actitud del robot móvil en un plano bidimensional a través del cálculo de navegación. Su ventaja radica en la frecuencia de salida y la estabilidad del sistema, sin embargo, su desventaja está relacionada con una mayor acumulación de errores.

En la plataforma de este prototipo se cuenta con un sistema de navegación DR, compuesto por odómetro y brújula electrónica que puede generar datos sobre la posición, velocidad y actitud del robot móvil en un plano bidimensional. La principal desventaja es la acumulación de errores, lo que da como resultado una baja estabilidad de navegación.

Entre tanto, en el sistema de navegación SLAM se usan los resultados de varios sensores de manera integral para generar información de posicionamiento, con la ayuda del sistema de medición de distancia por láser y el sistema de visión de la plataforma en la nube se puede suministrar información de orientación. Sin embargo, surgen grandes fallas resultado de los errores del reconocimiento de características del entorno y la asociación de datos; esto hace que el sistema no sea lo suficientemente estable.

Otros autores, como (Fu-jun , Hao-yang , & Yu-hang , 2014) propusieron un algoritmo FastSLAM, según ellos, una solución efectiva para la localización y mapeo simultáneos. En el proceso de localización, la estructura distribuida se utilizó para reducir el efecto de los mensajes de error en los resultados finales estimados y mejoró la tolerancia a fallas del SLAM.

Los resultados de la simulación mostraron que el algoritmo FastSLAM tiene una mejor precisión de estimación que los algoritmos anteriores, y se podría lograr una estimación más precisa de manera consistente durante períodos de tiempo más largos, se redujo la complejidad del cálculo y se mantuvo la precisión de la

estimación.

4. Sistema Operativo de Robot (ROS)

Los robots móviles autónomos son hoy parte de la vida cotidiana de los seres humanos, desarrollan tareas fundamentales en la industria y fortalecen el aprendizaje- enseñanza en el sector educativo; es así como estos dispositivos son vitales en la sociedad.

Sin embargo, detrás de su funcionamiento hay una serie de sensores, actuadores, controladores, programas y software que lo hacen posible. Para que estos dispositivos sean muy eficientes se diseñan e implementan plataformas de desarrollo de software robótico avanzado, se destacan, entre otras, Microsoft Developer Robotics basada en Windows con C#; LabVIEW Robotics compatible con Windows, Linux, Mac y Unix y la plataforma ROS, que se caracteriza por su fácil uso, alta eficiencia, compatible con múltiples lenguajes de programación, es de código abierto (BSD) y gratuito.

La plataforma ROS fue utilizada en el robot de fútbol diseñado (Fu-jun , Hao-yang , & Yu-hang , 2014) Éste es un ejemplo de los usos que tiene esta plataforma y que para el caso del proyecto en curso será efectiva.

5. Estructuras

a.Turtlebot

Turtlebot (Figura 5.) es una plataforma de investigación ampliamente utilizada que es compatible con ROS, integra diversos sensores como odómetro y sensores de visión extensibles.

Se pueden desarrollar aplicaciones como mapeo y navegación. Su implementación puede realizarse utilizando un joystick remoto (palanca de mando); usando el kit de desarrollo para los algoritmos de navegación que permiten simular trayectorias o usando aplicaciones para guiar el robot, registrar los datos en el sensor y evitar los obstáculos.



Figura 4. Robot Turtlebot.

Nota: Fuente de la imagen Huiwen , Xiaoning , Mingliang , & Weijia Z, 2016.

En este robot Turtlebot se integró un Kinect para obtener información de distancia. (Huiwen , Xiaoning , Mingliang , & Weijia Z, 2016)



Figura 5. Robot Turtlebot 2.

Nota: Fuente de la imagen Quiñonez, Tostado, & Burgueño, 2015.

TurtleBot 2 (Figura 5) es un robot móvil de cinemática diferencial que está programado con ROS y puede utilizarse para múltiples aplicaciones, es una plataforma robótica abierta que está diseñado específicamente para la educación e investigación. Este modelo está equipado con un sensor en 3D, bumpers, cámara Kinect Xbox 360 que permite navegar en ambientes interiores y exteriores. (Quiñonez, Tostado, & Burgueño, 2015)

b. The Nubot

El robot de fútbol NuBot (Figura 7) es una plataforma que contiene sensores, controladores y actuadores. Los sensores incluyen un sistema de visión omnidireccional, cuatro codificadores de motor, dos sensores de desplazamiento lineal, un sistema de visión frontal para el robot normal y dos cámaras RGB-D para el robot portero. Los controladores consisten en una PC industrial Beckhoff, seis accionamientos de motor ELMO y un módulo de disparo.

Los actuadores contienen un sistema de disparo, un mecanismo de entrega de bolas y un marco base.

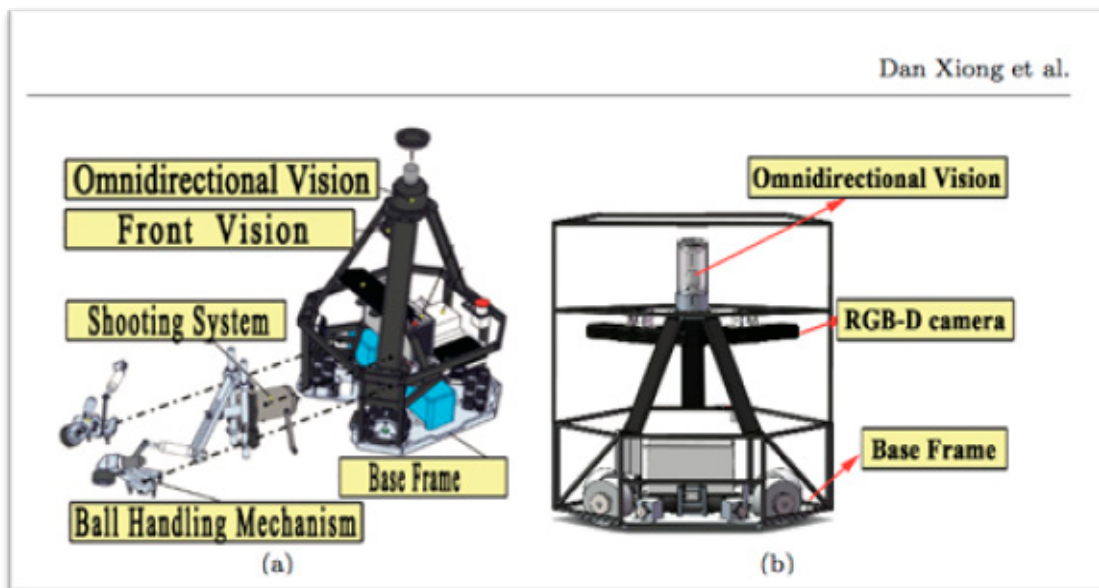


Figura 6. Robot Nubot.

Nota: Fuente de la imagen Dan, y otros, 2012.

Para responder a los requerimientos del juego que es cada vez más competitivo, en este modelo The Nubot se utilizó un sistema eléctrico de última generación que consta de una PC industrial, un segundo controlador, los módulos de E/S, los sensores y los controladores de movimiento. La tecnología de control basada en PC se está volviendo popular en el sistema de automatización industrial porque puede proporcionar estabilidad a nivel industrial. (Dan , y otros, 2012)

c. Carretilla industrial

Este es un vehículo tipo triciclo que consta de dos ruedas fijas alineadas y otra rueda, orientable.



Figura 7. Robot carretilla.

Nota: Fuente de la imagen Gracia Caladin, 2006.

En la investigación en el que fue utilizado este sistema, se utilizaron modelos con deslizamiento como una solución directa para estimar el movimiento del vehículo, con la información de sensores dada por tres encoders que miden la rotación de las tres ruedas fijas (encoders incrementales con 8290 pulsos por vuelta de la rueda) y la orientación de la rueda orientable (encoder absoluto de 1.41o de resolución) (Gracia Caladin, 2006)

d. Lego NXT

El sistema conocido como LEGO NXT 2.0 (Figura 9) lo componen piezas plásticas como ruedas, pasadores servomotores y un ladrillo inteligente que resultado de su versatilidad hace posible diversos ensamblajes. Es un dispositivo que permite mantener una velocidad precisa, mejor control y modernos patrones de sonidos.

Los Lego son comúnmente utilizados en investigaciones y jornadas académicas.

Es un aliado en la educación.



Figura 8. Robot diferencial Lego NXT.

Nota: Fuente de la imagen Cardona, Leal, & Ramirez, 2018.

Este modelo cuenta con un robot LEGO de tracción diferencial cuenta con dos servomotores, dos ruedas dos cables de comunicación, una rueda loca, dos pasadores y cuatro piezas de unión. (Cardona, Leal, & Ramirez, 2018)



Figura 9. Robot Lego 3 ruedas.

Nota: Fuente de la imagen Chavarro, Ramirez Antolinez, & Zambrano Cruz, 2016.

Entre tanto, este robot móvil fue construido con LEGO (Figura 9), está compuesto por un módulo de cómputo llamado CPU, contiene en su interior un procesador de 8 bits programable que interactúa con sus periféricos en los que se encuentran, motores DC con sensores que permiten leer la posición de cada

motor, comunicación bluetooth, puerto de comunicaciones USB para intercambio de datos, una pantalla LCD para acceder al sistema operativo que contiene el LEGO, así como la posibilidad de interactuar con otros periféricos. (Chavarro, Ramirez Antolinez, & Zambrano Cruz, 2016)

e. Fitorobot

Fitorobot (Figura 11) es un robot móvil con una masa de 500 Kg, es utilizado generalmente para trabajar al interior de invernaderos, terrenos con arena suelta, lo que requiere de un sistema de locomoción basado en orugas de goma; está compuesto por sensores como la antena del DGPS, cámaras de visión, brújula magnética y codificador.

El robot está controlado por un PC industrial colocado en la parte trasera del robot (junto al marco antivuelco y a los joysticks para el manejo manual). Este dispositivo fue creado por la Universidad de Almería (Gonzalez, Rodriguez , & Guzman, 2015)

Este robot agrícola polivalente es utilizado para realizar tareas en los invernaderos que van desde la pulverización de fitosanitarios hasta el transporte de productos. Se convierte en un apoyo para el operario y evita problemas de salud generados por la humedad o el uso de plaguicidas en algunas tareas que pueden ser realizadas por el Fitorobot.



Figura 10. Fitorobot.

Nota: Fuente de la imagen Gonzales, Rodriguez & Guzman, 2006.

Resultados y Análisis

Durante la revisión de la literatura se encontraron publicaciones relacionadas con el tema abordado evidenciando lo siguiente:

1. Artículos de revistas

De las publicaciones consultadas en el presente Informe de Vigilancia Tecnológica, se registró que, del total, el 66% corresponde a artículos publicados en revistas especializadas; 27% hace referencia a documentos relacionados con Tesis y en un menor porcentaje, se encuentran los libros con un 7%.

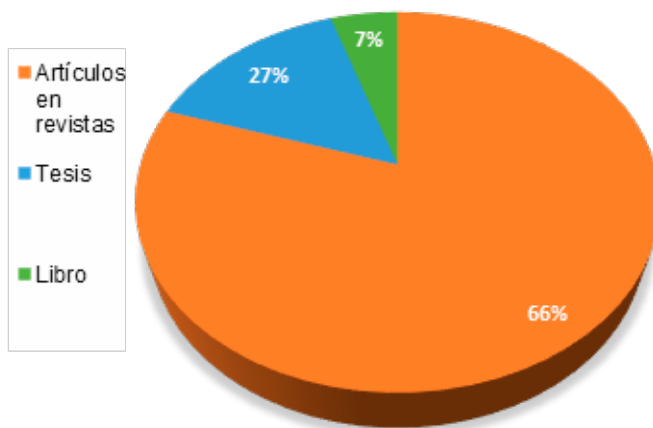


Gráfico 1. Publicaciones consultadas.

De las cuales, el 33% hacen referencia a Cinemática; 32% están relacionados con la técnica de mapeo y localización (SLAM); 20% a los usos de la plataforma ROS y en un menor porcentaje, 15% específicamente con el estudio de la Odometría.

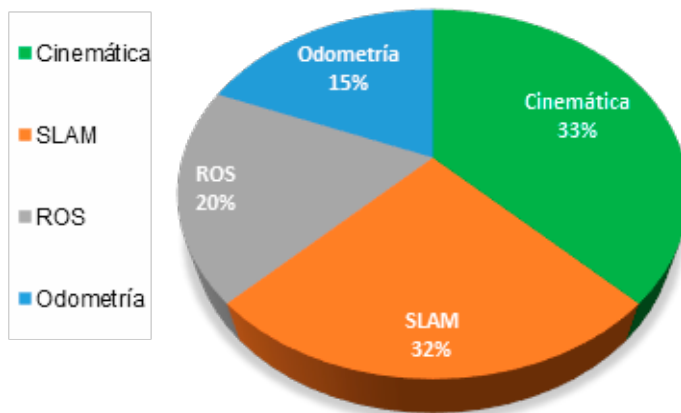


Gráfico 2. Temáticas.

Los documentos encontrados datan del año 1986 hasta el 2020. El mayor número de publicaciones se realizaron en los años 2016 y 2020. El 20% fueron escritos en el 2016, un año que se caracterizó por la comercialización mundial de robots industriales. Según la Federación Internacional de Robótica, (IFC) en el 2016 se aumentó en un 16% las ventas y 20% se elaboraron en el año 2012 (Hernández, 2017)

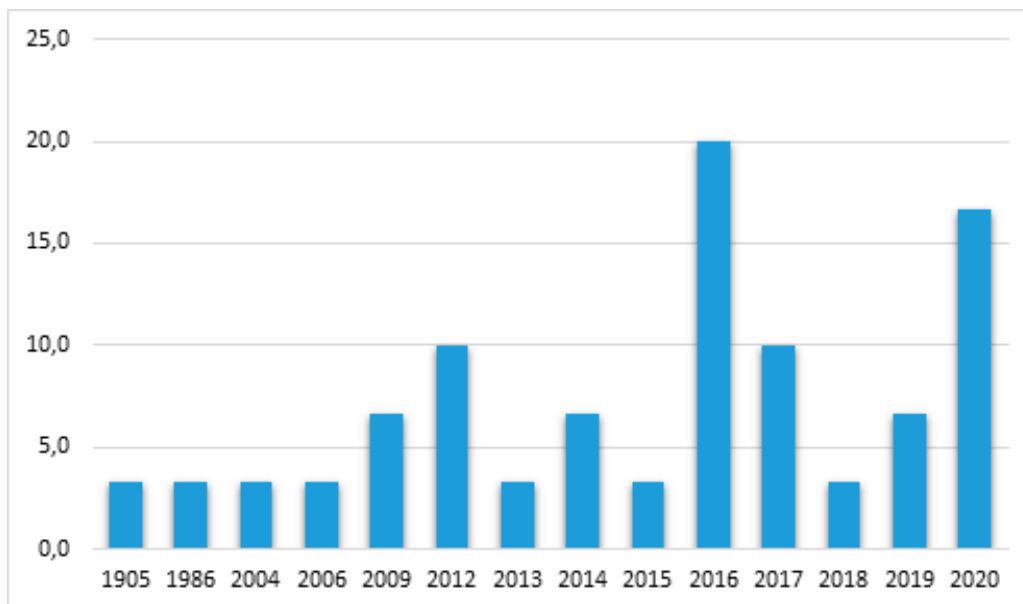


Gráfico 3. Publicaciones por año.

En cuanto al país de origen de los artículos, España, Colombia y China registran el mayor porcentaje de publicaciones encontradas en promedio en un 20 por ciento de publicaciones, los demás, con un promedio del 6% corresponden a países como Suiza, México, Estados Unidos, Alemania e Inglaterra.

Durante la revisión se determinaron los artículos que son referentes para los investigadores, dado el número de veces que han sido citados; es el caso, del artículo 'Kinematic Modeling of Wheeled Mobile Robots', escrito en 1986 por Patrick F. Mulr and Charles P. Neuman en Pittsburgh, Pennsylvania; según los registros ha sido citado en 629 documentos. Los autores son expertos en formulación de ecuaciones cinemáticas de movimiento de los robots móviles con ruedas, en el texto presentan un enfoque paralelo al modelado cinemático de manipuladores estacionarios.

Así mismo, se registra un segundo documento que ha sido citado 180 veces; se trata del artículo "Plant detection and mapping for agricultural robots using a 3D LIDAR sensor", escrito por Ulrich Weiss y Peter Biber en Alemania, en el año 2011. En este, se relacionan las ventajas del uso de sensores 3D Lidar basados en MEMS sobre los enfoques tradicionales como la visión o la visión estéreo en el dominio de la robótica agrícola y comparamos este tipo de sensores con los típicos sensores 3D utilizados en robots móviles.

2. Tesis

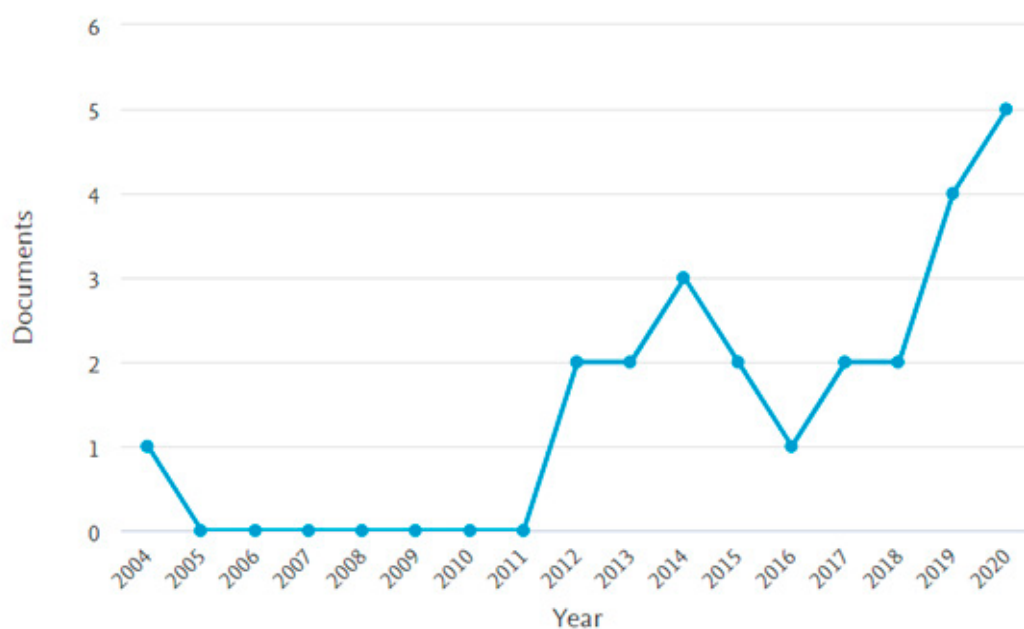
Del total de publicaciones referenciadas en este informe, el 15% está relacionada con resultados de una investigación plasmados en una tesis para obtener el título de magíster y doctorado. El 100% de estos artículos están relacionados con el estudio de la Cinemática y fueron escritos, en el año 2006, 2016 y 2017. El 67% de los documentos fueron escritos en España.

3. Libro

En la documentación revisada, se encontró el libro 'Introduction to Autonomous Mobile Robots', escrito por Roland Siegwart y Illah R. Nourbakhsh en el año 2004. Este texto ha sido citado 3.598 veces en distintos artículos, convirtiéndose en un referente para este informe de Vigilancia Tecnológica y el libro Applied Mathematical Modelling como ayuda para los modelos aplicados.

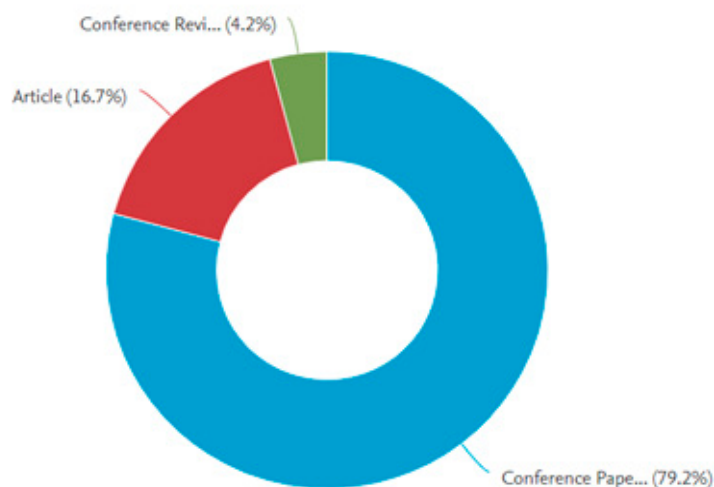
Por otro lado, al realizar la búsqueda implementando las palabras claves seleccionadas y determinando ecuaciones ("Robotic AND platforms AND autonomous AND robots AND ros OR slam AND odometry"), se pudo determinar resultados relevantes por la base de datos SCOPUS como los siguientes:

Documents by year

**Gráfico 4.** Cantidad de documentos publicados por año.**Nota:** Fuente de la imagen SCOPUS 2020.

Según la figura 11, la cantidad de documentos publicados por año se incrementan a partir del año 2011, encontrando que actualmente el 2020 es el año donde los investigadores se encuentran publicando y realizando más investigaciones en el área.

Documents by type

**Gráfico 5.** Tipos de documentos publicados.**Nota:** Fuente de la imagen SCOPUS 2020.

Como se representa en el gráfico 5, el tipo de documentos encontrados era en un 79 por ciento artículos producto de ponencias eventos científicos, en un 17 por ciento artículos especializados y en un 4 por ciento revistas.

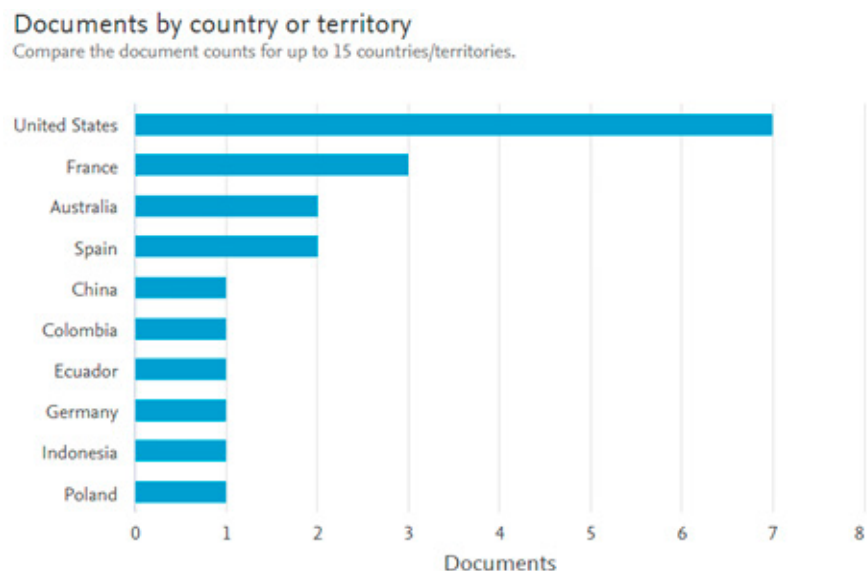


Gráfico 6. Países de las publicaciones.
Nota: Fuente de la imagen SCOPUS 2020.

Además, se logra evidenciar según el gráfico 6 que los países que mas desarrollan publicaciones en dicha área es Estados Unidos, Francia, Australia, España, China, Colombia.

Consecutivamente, las ecuaciones de búsqueda permitieron encontrar patentes desarrolladas en el área, como resultado se refleja en la tabla 4 que los investigadores han desarrollado patentes en:

- Robots móviles autónomos.
- Implementando Filtros Schmidt-Kalman inverso de raíz cuadrada para navegación y mapeo inercial asistidos por visión.
- Aparatos y métodos de localización y mapeo simultáneos.
- Fusión de sensor visual-inercial para navegación, localización, mapeo y reconstrucción 3D.
- Método de reconocimiento de obstáculos para robots autónomos.



Gráfico 7. Cantidad de patentes por año.

Según el gráfico 7, se evidencia que en el siglo XXI se ha incrementado y potencializado la realización y desarrollo de la mayor cantidad de patentes, encontrando que en el año 2020 se han realizado patentes en el área de robots móviles en un 75 por ciento.

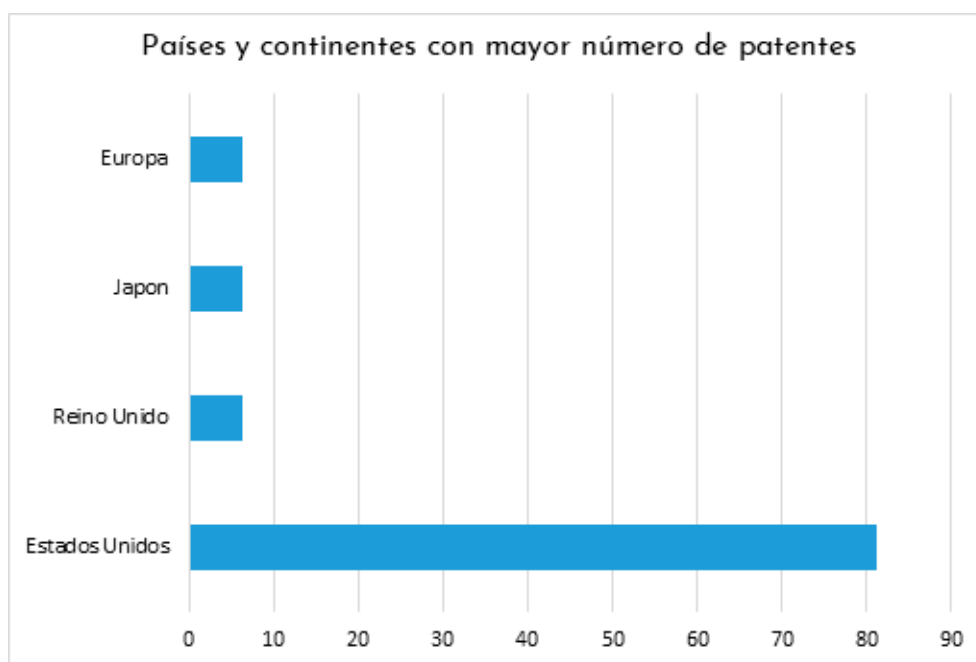


Gráfico 8. Países con mayor números de patentes.

La revisión como se muestra en el gráfico 8, permite evidenciar como resultado que los países y continentes con mayor número de patentes son Estados Unidos, Reino Unido, Japón y Europa.

Conclusiones

La robótica se ha convertido con el paso de los años en pilar fundamental para el desarrollo y fortalecimiento de la industria. Actualmente, diversos procesos son operados por robots, desde aquellas tareas simples, repetitivas como otras de mayor complejidad y responsabilidad. En la actualidad es común conocer experiencias y estudios de expertos diseñando, construyendo e implementando robots, con diferentes enfoques y elementos.

Al terminar la revisión teórica de los documentos seleccionados durante este proceso de vigilancia tecnológica científica, se concluye que la robótica se ha convertido en parte del ser humano, está inmerso en sus procesos de aprendizaje y cualifica las acciones realizadas por las personas; por estas razones, se hace viable poner en marcha el diseño e implementar un robot móvil autónomo para la logística en ambientes internos, según los resultados obtenidos se permite concluir que en el transcurso del tiempo se incrementan las investigaciones y las patentes en el área.

Para ello se requiere inicialmente determinar las estrategias de control que harán posible el desplazamiento autónomo del robot por una ruta específica. Así que se tendrán que evaluar y concretar aspectos como el estudio cinemático, la Odometría, la navegación y el desplazamiento por método SLAM.

De acuerdo con los artículos revisados se determinó que se utilizan diversas estructuras de robots, según las áreas en la que se van a implementar. Se destacan Turteblot, Lego y Nubot, las más comunes para los autores.

Recomendaciones

Aunque barreras técnicas no se detectaron, sí se encontró que en el área específica de logística no se encuentran modelos ya implementados, salvo, algunos robots industriales empleados por la compañía Amazon en sus bodegas para entregar pedidos y en comercio electrónico que implementan modelos analíticos.

Teniendo en cuenta la revisión bibliográfica se recomienda lo siguiente:

Para el diseño de la plataforma se podría implementar robots como “Nubot”, donde el investigador dispone de un robot diseñado a partir de las características y especificaciones necesarias según las condiciones del contexto para el proceso de logística que se desea implementar.

El software ROS se plantea como la plataforma más eficiente e implementada en los robots, porque facilita el uso, y compatibilidad con múltiples lenguajes y código abierto gratuito.

Para el algoritmo y localización del mapeo del robot, se sugiere como la mejor solución el algoritmo FastSLAM por su eficiencia en la estimación durante periodo de tiempos más largos.

Este panorama se convierte el alentador para continuar con el desarrollo de la iniciativa de construir un robot móvil autónomo que desarrolle labores de logística en ambientes internos pionera en esta región del sur del país.

Bibliografía

- Quiñonez, Y., Tostado, I., & Burgueño, C. (2015). Aplicación de técnicas evolutivas y visión por computadora para navegación autónoma de robots utilizando un TurtleBot 2. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de la Informacao*, 93-105.
- Hernandez Millan, G., Rios Gonzalez, L., & Bueno Lopez, M. (2016). Implementación de un controlador de posición y movimiento de un robot móvil diferencial. *Revista Tecnura*, 20-48.
- Gracia Caladin, L. (2006). *Modelado Cinemático y Control de Robots Móviles con Ruedas*. Modelado Cinemático y Control de Robots Móviles con Ruedas, 306. Valencia, España: N.A.
- Cardona, J. P., Leal, J. J., & Ramirez, J. L. (2018). Modelado Matemático de la Posición del Centro de Masa de un Robot de Tracción Diferencial. Un Enfoque desde la Mecánica Lagrangiana. *Información Tecnológica* , 307 -320.
- Quintero, A. (2012). Modelo Cinemático Dinámico Del Mini Robót Móvil RICIMAF. *Revista Científica de Energía Electrónica, Automática y Comunicaciones*, 49 -62.
- Navarro Merino, F. (2017). Aplicaciones De La Reconstrucción 3d: Odometría Visual E Integración Con La Realidad Virtual. *Universidad Politécnica de Madrid*, 1 -64.
- Gonzalez, R., Rodriguez , F., & Guzman, J. (2015). Robots Móviles con Orugas Historia, Modelado, Localización y Control. *Revista Iberoamericana de Automatica e Informatica Industrial*, 3 - 12.
- Boal, J., Sanchez - Miralles, A., & Arranz, A. (2014). Topological simultaneous localization and mapping: a survey. 803 -821.
- Zeng , J., Guo, X., & Zhang, G. (2013). Study on Method of Autonomous Mobile Robot Integrated Navigation Based on SLAM. 1290-1297.
- Fu-jun , P., Hao-yang , L., & Yu-hang , C. (2014). An Improved FastSLAM System Based on Distributed Structure for Autonomous Robot Navigation. *Journal of Sensors*.
- Zarazaga, S. (2017). Agricultura 4.0: Las tecnologías de la industria 4.0 aplicadas al campo.
- Bermudez, G. (2003). Modelamiento cinemático y odométrico de robots móviles.

- Tecnura, 6(12).
- Vera Luzuriaga, J. (2017). Control de trayectoria de la simulación de un brazo robot de 5 grados de libertad, controlado mediante la plataforma C2000 Piccolo LAUNCHXL-F28027F. Tesis, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.
- Dan , X., Junhao , X., Huimin , L., Qinghua , Y., Zhiwen , Z., Kaihong , H., . . . Zhiqiang, Z. (2012). The Design of an Intelligent Soccer-Playing Robot.
- Chavarro, A., Ramirez Antolinez, L., & Zambrano Cruz, K. (2016). Modelamiento, simulación y control de posicionamiento automático de un robot móvil con tracción diferencial como herramienta para apoyar la formación en robótica en ambientes de aprendizaje SENA. SENNOVA, 2(2).
- Huiwen , Z., Xiaoning , H., Mingliang , F., & Weijia Z, h. (2016). Robot Obstacle Avoidance Learning Based on Mixture Models. 14.
- La República - Noelia Ciguenza. (18 de Marzo de 2019). La República. Recuperado el Enero de 2020, de La República: <https://www.larepublica.co/especiales/ruta-del-cafe/huila-es-el-departamento-lider-cafetero-con-16-del-area-cultivada-2840686>
- Hernández, R. F.-M. (2 de Octubre de 2017). Forbes. Recuperado el 2020, de Forbes: <https://www.forbes.com.mx/el-mundo-compro-mas-robots-durante-2016/>